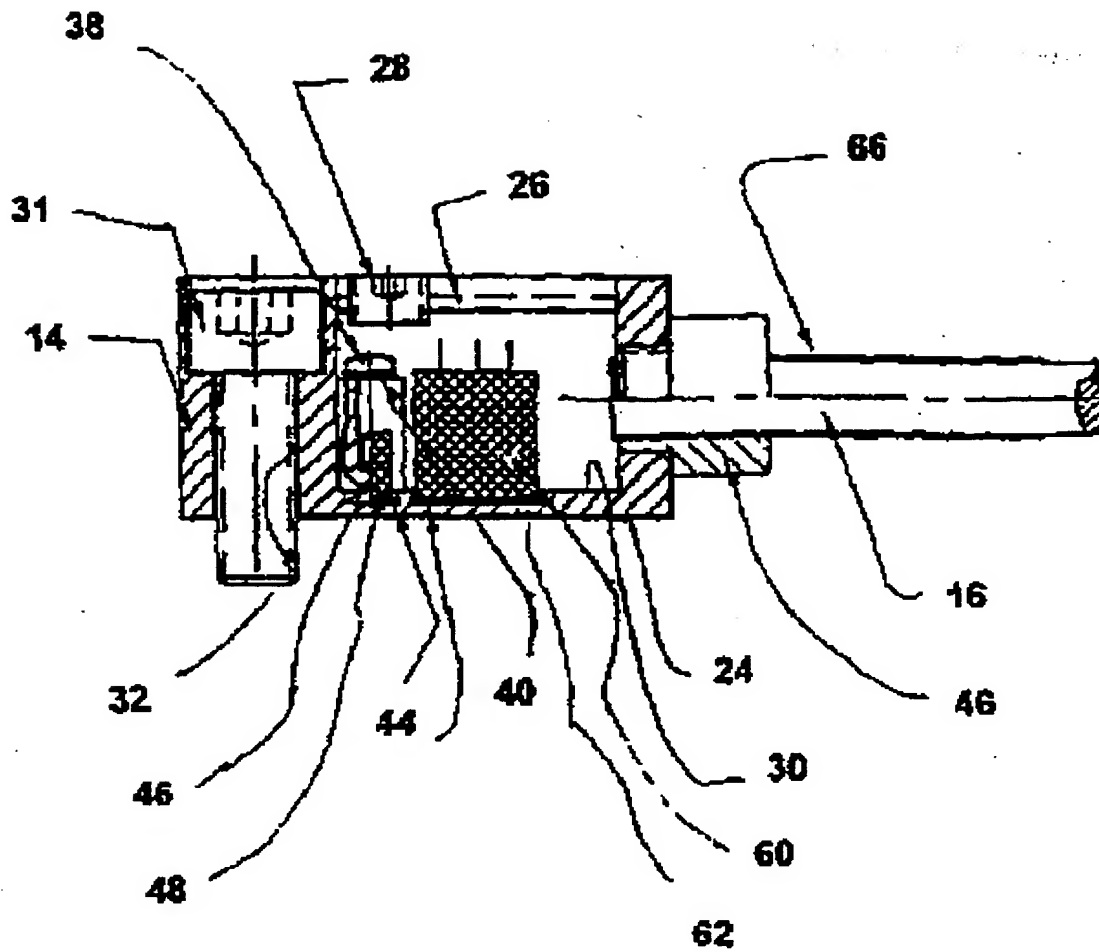


AN: PAT 2000-525612
TI: Broad band vibration sensor for machinery and machine tools
includes two sensors and amplifiers and can be used
conveniently with long lead and bandpass filters
PN: **DE19963608-A1**
PD: 20.07.2000
AB: NOVELTY - The casing has a mechanical contact surface and
includes two sensors fastened inside, connected to an amplifier,
to detect vibrations emitted.; USE - A vibration sensor for
machinery and machine tools. ADVANTAGE - The unit is
conveniently separate from the equipment with which it is used,
permitting independent servicing. In-head amplifier(s) allow
long lead length, convenient for reaching remoter locations. A
system of interchangeable filters permits each frequency range
of interest to be investigated. The disclosure includes further
practical discussion DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The head is
illustrated. Elsewhere in the patent, schematic diagrams
indicate the circuitry employed.
PA: (MONT-) MONTRONIX INC;
IN: PFLUEG C;
FA: **DE19963608-A1** 20.07.2000; US6205872-B1 27.03.2001;
CO: DE; US;
IC: G01D-021/00; G01H-001/00; G01M-013/00; G01M-019/00;
G01P-015/00;
MC: A12-E13; S02-E; S02-G03; S02-J09;
DC: A85; S02;
FN: 2000525612.gif
PR: US0222451 29.12.1998;
FP: 20.07.2000
UP: 10.04.2001

THIS PAGE RI ANK 1150701



THIS PAGE BLANK (ISPTO)



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 63 608 A 1**

⑤ Int. Cl.⁷:
G 01 H 1/00
G 01 P 15/00
G 01 M 19/00

⑲ Aktenzeichen: 199 63 608.7
⑳ Anmeldetag: 23. 12. 1999
㉓ Offenlegungstag: 20. 7. 2000

DE 199 63 608 A 1

③① Unionspriorität:
09/222,451 29. 12. 1998 US
⑦① Anmelder:
Montronix, Inc., Ann Arbor, Mich., US
⑦④ Vertreter:
PFENNING MEINIG & PARTNER GbR, 10707 Berlin

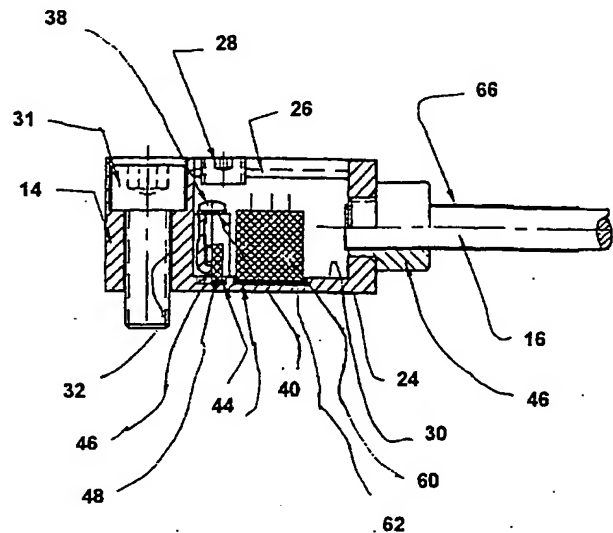
⑦② Erfinder:
Pflueg, Christian, Ann Arbor, Mich., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ **Breitband-Vibrationssensor**

⑤⑦ Eine Breitband-Vibrationssensorvorrichtung enthält ein einziges Gehäuse (14) mit wenigstens zwei Vibrationsensoren (44, 60), die in Signalkommunikation mit einer Maschinenkontakfläche des Gehäuses und einer Maschine, an welcher das Gehäuse befestigt ist, angeordnet sind. Einer der Sensoren (44) ist ein piezoelektrisches Element, welches in der Lage ist, Hochfrequenzvibrationen zu erfassen, und der andere Sensor (60) ist ein Beschleunigungsmesser, welcher in der Lage ist, Niederfrequenzvibrationen zu erfassen. Ein Niedrigimpedanzwandler ist in dem Gehäuse vorgesehen, um den Ausgang des piezoelektrischen Elements in einen Niedrigimpedanzausgang umzuwandeln. Ein Verstärker ist mit dem modifizierten Niedrigimpedanzausgang des ersten Sensors und dem Ausgang des zweiten Sensors verbunden, um beide Ausgangssignale zu verstärken. Ein einziges Kabel (16) verbindet das Gehäuse mit einem Verstärkergehäuse. Umschalter sind vorgesehen, um den Verstärker entweder als Vorrichtung mit einem Eingang und zwei oder vier Kanälen oder als Vorrichtung mit zwei Eingängen und zwei Kanälen auszubilden. Bandpaßfilter mit unterschiedlichen Frequenzbereichen sind austauschbar in dem Verstärkergehäuse angeordnet, um den Bandpaß-Frequenzbereich jedes Sensors auszuwählen. Ein Wechselstrom/Gleichstrom-Wandler ist mit dem Ausgang des Sensorverstärkers gekoppelt.



DE 199 63 608 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Vibrationssensoren und insbesondere auf Vibrationssensoren und damit verbundene Steuervorrichtungen zum Erfassen des Ausfalls von Werkzeugmaschinen und deren Funktionen.

Werkzeugmaschinen wie Ständerbohrmaschinen, Drehbänke, Fräsmaschinen usw. erzeugen während des normalen Betriebs charakteristische Vibrationen. Eine Änderung der charakteristischen Vibrationen, welche sich aus Abnutzung, Versagen einzelner Teile usw. ergeben, führt zu Vibrationen mit unterschiedlichen Frequenzen, welche erfasst und analysiert werden können, um eine frühe Warnung über das Versagen der Maschine oder des Werkzeugs zu liefern, so daß vorbeugende Maßnahmen getroffen werden können, um einen schwerwiegenden Schaden an der Werkzeugmaschine und/oder dem Werkstück zu vermeiden.

Vibrationen werden durch kontinuierliche Schneidvorgänge oder Stossvorgänge wie Stanzen, Prägen oder Formen erzeugt. Eine plastische Verformung, ein Bruch oder Reibungsvorgänge, die allgemein bei der Metallverarbeitung auftreten, erzeugen akustische Emissionssignale oder Berstvorgänge. Wenn z. B. ein Werkzeug wie ein Bohrer mit sehr kleinem Durchmesser oder eine Bohrspitze zu versagen beginnt, bilden sich mikroskopische Risse in dem Werkzeugkörper. Diese Signal pflanzen sich rasch fort und erzeugen deutliche akustische Energiesignale in dem Bereich von 50 KHz bis 500 KHz. Vibrationen, die für individuelle Schneidzahnstörungen charakteristisch sind, welche sich entwickeln, wenn Einsätze bei Vielzahnfräsern mit großem Durchmesser versagen, sowie bei Versagen der Lager von Maschinenteilen oder Spindeln werden in einem unterschiedlichen Bereich von angenähert 1 Hz bis 10 KHz erzeugt.

Die gegenwärtige Technologie verwendet separate Sensoren, um die Maschinenbetriebsvibrationen und die Werkzeugbruchvibrationen zu erfassen. Typischerweise ist ein mechanischer Niedrigfrequenz-Vibrationssensor wie ein Beschleunigungsmesser in einem Gehäuse befestigt, welches auf einer Werkzeugmaschinenoberfläche angebracht ist, wie beispielsweise an dem Bett der Werkzeugmaschine. Die Sensoren für höhere Frequenzen sind typischerweise akustische Emissionssensoren wie piezoelektrische Elemente, welche in einem getrennten Gehäuse befestigt sind. Weiterhin haben unterschiedliche Technologien, die bei piezoelektrischen Elementen und Beschleunigungsmessern angewendet wurden, jeweils zu einem Typ von Sensor geführt, die durch verschiedene Hersteller produziert wurden.

Im Gebrauch wird der Vibrationssensor, ob ein Beschleunigungsmesser oder ein akustischer Emissionssensor mit einem piezoelektrischen Element, in einem Gehäuse befestigt und an der Werkzeugmaschine angebracht. Ein Kabel von kurzer Länge, typischerweise 2 m oder weniger, verbindet den Sensorausgang mit einem in einem separaten Gehäuse befestigten Verstärker. Das Kabel kurzer Länge erfordert, daß das Verstärkergehäuse innerhalb der Umgebung der Werkzeugmaschine in relativ großer Nähe zu dem Bearbeitungsvorgang angeordnet wird, wodurch das Verstärkergehäuse Metallspäne, dem Kühlmittel usw. ausgesetzt ist.

Ein Kabel verbindet den Ausgang des Verstärkers mit einem entfernten Werkzeug-Überwachungssystem, welches in der Lage ist, einen bestimmten Frequenzbereich von Vibrationen, der mit einer abnormen Maschinenoperation, Bohrerbruch usw. verbunden ist, zu analysieren. Wenn eine ausgewählte Frequenz erfasst wird, die mit einer abnormen Operation oder einem Werkzeugbruch verbunden ist, wird ein Alarm und/oder ein Ausgangssignal durch die Werk-

zeug-Überwachungsvorrichtung erzeugt, welches von der Maschinensteuerung verwendet werden kann, die Maschine abzuschalten, bevor weiterer Schaden an der Maschine selbst auftritt oder Teile erzeugt werden, welche aufgrund des gebrochenen Werkzeugs, Bohrers usw. nicht mehr den Spezifikationen entsprechen.

Der Anmelder der vorliegenden Erfindung hat eine Verstärkerschaltung mit austauschbaren, steckbaren Bandpaßfilterschaltungen entworfen, jede für einen ausgewählten Frequenzbereich wie 1–10 KHz, 0–600 Hz, 30–500 KHz und 200–400 KHz. Das Ausgangssignal von jedem individuellen Sensor wird in zwei Kanäle aufgeteilt, von denen jeder eine ersetzbare Bandpaßfilterschaltung mit einem unterschiedlichen Frequenzbereich aufweist. Somit werden in dem Fall des akustischen Emissionssensors für höhere Frequenzen die Bandpaßschaltungen für höhere Frequenzen verwendet. Die Schaltungen für niedrigere Frequenzen werden zum Überwachen von Maschinenbetriebsvibrationen verwendet.

Jedoch sind die bekannten Techniken, die zum Messen sowohl des Maschinenbetriebs als auch einer Werkzeugmaschine angewendet werden, nicht ohne Nachteile. Die Unterbringung eines einzelnen Vibrationssensors in einem einzelnen Gehäuse erfordert notwendigerweise zwei getrennte Gehäuse und die damit verbundene Arbeit zum Befestigen der Gehäuse an der Maschine, um die Hoch- und Niedrigfrequenzvibrationen zu erfassen, die mit einem Schneidelementbruch und einem abnormen Maschinenbetrieb verbunden sind. Jedes separate Sensorgehäuse erfordert auch ein getrenntes Kabel und ein getrenntes Verstärkergehäuse, wodurch zusätzliche Arbeit und Kosten entstehen.

Weiterhin ist das Verstärkergehäuse innerhalb der Betriebsumgebung der Werkzeugmaschine angeordnet aufgrund der kurzen Länge des zwischen dem Verstärkergehäuse und dem Sensor verwendeten Kabels. Dieses Kabels kurzer Länge wurde verwendet, obgleich Impedanzwandler in dem Sensorgehäuse eingesetzt wurden, um einen Niedrigimpedanzausgang zu schaffen, welcher es ermöglichen würde, Kabel von mehr als 2 m Länge zwischen dem Sensor und dem Verstärker zu verwenden. Dies führt dazu, daß eine Wartungsperson die Umgebung der Werkzeugmaschine betreten muß, nachdem die Maschine abgeschaltet wurde, und die Produktion unterbrochen werden muß um den Verstärker zu warten, wie bei einem Wechsel der Bandpaßfrequenzschaltung in dem Fall eines Betriebswechsels.

Somit wäre es wünschenswert, eine Vibrationssensorvorrichtung zu schaffen, welche die bei den bekannten Vibrationssensorvorrichtungen anzutreffenden Nachteile beseitigt. Es wäre wünschenswert, eine Vibrationssensorvorrichtung vorzusehen, welches ein einziges Sensorgehäuse aufweist, das mehrere Vibrationssensoren zum Erfassen unterschiedlicher Vibrationsfrequenzen enthält. Es wäre auch wünschenswert, einen Vibrationssensor zu schaffen, welcher eine große Kontaktfläche zwischen der Maschine und den Vibrationssensoren vorsieht für eine verbesserte Vibrationserfassung. Es wäre auch wünschenswert, eine Vibrationssensorvorrichtung zu schaffen, welche Kabel größerer Länge zwischen dem einzigen Sensorgehäuse und einem einzigen Verstärkergehäuse verwendet, um zu ermöglichen, daß das Verstärkergehäuse entfernt von der Betriebsumgebung der Werkzeugmaschine angeordnet wird für einen leichten Zugang durch Wartungspersonal ohne wesentliche Unterbrechungen des Maschinenbetriebs.

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Breitband-Vibrationssensorvorrichtung zum Erfassen von Vibrationen, die durch Abweichungen im Maschinenbetrieb und durch Werkzeugmaschinenstörungen hervorgerufen werden.

Die Vibrationssensorvorrichtung enthält ein Gehäuse mit

einer Maschinenkontaktoberfläche. Ein erster und ein zweiter Sensor sind in dem Gehäuse befestigt, um von der Maschine emittierte Vibrationen zu erfassen. Ein Verstärker ist mit den Ausgängen des ersten und des zweiten Sensors gekoppelt, um deren Ausgangssignale zu verstärken.

Der erste und der zweite Sensor erfassen bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel einen niedrigen bzw. hohen Frequenzbereich. Der erste Sensor ist beispielsweise ein Beschleunigungsmesser, der zum Erfassen von Vibrationsfrequenzen von etwa 0,1 Hz bis etwa 10 KHz geeignet ist. Der zweite Sensor ist beispielsweise ein piezoelektrisches Element, welches zum Erfassen von Vibrationen von etwa 50 KHz bis etwa 500 KHz in der Lage ist.

Ein Impedanzwandler ist in dem Sensorgehäuse untergebracht und mit dem Ausgang des zweiten Sensors gekoppelt, um den Ausgang des zweiten Sensors in einen Niedrigimpedanzausgang umzuwandeln.

In dem Gehäuse ist ein Hohlraum gebildet. Der erste und der zweite Sensor sind in Signalverbindung mit der Maschinenkontaktoberfläche des Gehäuses gekoppelt. Es sind Mittel vorgesehen, die jeden der beiden Sensoren in Signalverbindung mit der Maschinenkontaktoberfläche des Gehäuses fest anordnen.

Der erste und der zweite Sensor sind gemäß einem Ausführungsbeispiel durch eine Klebverbindung in Signalkommunikation mit der Maschinenkontaktoberfläche des Gehäuses angeordnet. Der Klebstoff ist beispielsweise ein Epoxid.

Eine Ausnehmung ist in dem Gehäuse ausgebildet, um den ersten oder den zweiten Sensor aufzunehmen. Der erste oder zweite Sensor ist durch Klebstoff oder einen Presssitz in der Ausnehmung befestigt.

Ein einziges Mehrleiterkabel ist mit dem Sensorgehäuse verbunden und erstreckt sich aus diesem, um die Ausgangssignale des ersten und zweiten Sensors zu übertragen.

Es sind Mittel in der Verstärkerschaltung vorgesehen, um zumindest eines der Ausgangssignale des ersten und zweiten Sensors in einen ersten und einen zweiten, einander parallele Kanäle umzuwandeln. Vorzugsweise sind sowohl das erste als auch das zweite Sensorausgangssignal in getrennte Paare von ersten und zweiten parallelen Kanälen aufgeteilt. Es sind Mittel vorgesehen, welche ein Bandpaßfilter mit jedem der ersten und zweiten Kanäle koppeln. Vorzugsweise koppeln Mittel eines von mehreren Bandpaßfiltern, die jeweils einen unterschiedlichen Bandpaßfrequenzbereich haben, mit jedem der ersten und zweiten Kanäle.

Die Vibrationssensorvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung kombiniert einzigartig mehrere Vibrationssensoren, die zum Erfassen unterschiedlicher Typen oder Vibrationsfrequenzen geeignet sind, in einem einzigen Gehäuse, um die Befestigung der Vibrationssensoren an einer Maschine zu vereinfachen und die Kosten hierfür herabzusetzen im Vergleich zu den mehreren Sensorgehäusen, die bei den nach dem Stand der Technik verwendeten individuellen Vibrationssensoren erforderlich waren. Das einzige Sensorgehäuse, welches mehrere Vibrationssensoren enthält, verwendet auch ein einziges Kabel zu dem Verstärker anstelle von getrennten Kabeln. Eines für jedes Vibrationssensorgehäuse und jeden getrennten Verstärker, entsprechend dem Stand der Technik. Dieses wiederum vereinfacht und reduziert die Kosten der Herstellung und der Befestigung der Vibrationssensorvorrichtung an einer Maschine. Die Verstärkerschaltungen für beiden Vibrationssensoren sind in einem einzigen Gehäuse enthalten und mit dem einzigen Vibrationssensorgehäuse durch ein einziges Kabel großer Länge verbunden, welches möglich ist durch die Verwendung eines Niedrigimpedanzwandlers in dem Vibrationssensorgehäuse. Dies ermöglicht in einzigartiger Weise, daß das einzige Verstärkergehäuse außerhalb der Umgebung der Werk-

zeugmaschine angeordnet wird, wodurch das Verstärkergehäuse in geringerem Maße Metallspänen, Kühlmitteln und anderen rauen Umweltbedingungen in der Maschinenumgebung ausgesetzt ist. Da der Verstärker außerhalb der direkten Werkzeugmaschinenumgebung angeordnet ist, können der Austausch von in dem Verstärker verwendeten Filterschaltungen sowie jegliche erforderlichen Reparaturen an dem Verstärker selbst ohne Betreten der Werkzeugmaschinenumgebung oder wesentliche Unterbrechung der Produktion durchgeführt werden.

Die Auswahlvorrichtung in dem Verstärker zum selektiven Umwandeln der Verstärkerschaltung zwischen einer Konfiguration mit einem Eingang oder zwei oder vier Kanalausgängen und einer Konfiguration mit zwei Eingängen und zwei Kanalausgängen erweitert den Anwendungsbereich, für welchen die Vibrationssensorvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand von in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Vibrationssensorvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 eine Vorderansicht des Vibrationssensorgehäuses, Kabels und Kabelverbinders, welche in Fig. 1 gezeigt sind,

Fig. 3 eine teilweise geschnittene Seitenansicht des in den Fig. 1 und 2 gezeigten Vibrationssensorgehäuses,

Fig. 4 eine perspektivische Ansicht des teilweise aufgebrochenen Vibrationssensorgehäuses,

Fig. 5 ein schematisches Schaltbild des in dem Vibrationssensorgehäuse angeordneten Impedanzwandlers,

Fig. 6 eine Seitenansicht des in Fig. 1 gezeigten Verstärkergehäuses und

Fig. 7A und 7B ein schematisches Schaltbild sowie ein Blockschaltbild der in der Vibrationssensorvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung verwendeten Verstärkerschaltung.

Es wird auf die Fig. 1 bis 7B Bezug genommen, in denen eine Breitbandfilter-Vibrationssensorvorrichtung 10 dargestellt ist. Die Vibrationssensorvorrichtung 10 enthält grundsätzlich eine Vibrationssensoranordnung 12, die aus einem einzigen Gehäuse 14, das einen und vorzugsweise zwei oder mehr individuelle Vibrationssensoren enthält, und einem Ausgangskabel 16, welches den Ausgang der Vibrationssensoren in dem Gehäuse 14 mit einem Verstärker 18 verbindet, gebildet ist. Der Ausgang des Verstärkers 18 ist mit einem herkömmlichen Werkzeugmonitor verbunden, wie einem TS100-Monitor, der von Montronix, Inc. verkauft wird, welcher in der Lage ist, die Verstärkerausgangssignale mit vor-eingestellten Grenzwerten zu vergleichen und Signale für die Maschinenhardware/-software zu erzeugen, um die Maschine abzuschalten.

Wie in den Fig. 2 bis 4 gezeigt ist, hat das Vibrationssensorgehäuse 14 die Form eines einstückigen kubischen Körpers mit entgegengesetzten Enden, entgegengesetzten Seiten und einer im Wesentlichen ebenen oder flachen Maschinenbefestigungsfläche 24. Das Vibrationssensorgehäuse 14 ist so ausgebildet, daß es an einer geeigneten Oberfläche 20 wie dem Bett 22 einer Maschine befestigt werden kann, wobei sich die Befestigungsfläche 24 in sicherem Signalkommunikationskontakt mit der Maschinenoberfläche 20 befindet. Wie beispielhaft in Fig. 3 gezeigt ist, ist die Werkzeugmaschinen-Befestigungsfläche 24 als die Bodenfläche des Gehäuses 14 ausgebildet. Eine entfernbare Abdeckung 26 ist in der oberen Fläche des Gehäuses 14 durch ein Befestigungsmittel wie eine Madenschraube 28 befestigt. Nach der vollständigen Montage der Vibrationssensoren und des nachfolgend beschriebenen Impedanzwandlers innerhalb eines inneren Hohlraums 30 im Gehäuse 14 wird die Abdek-

kung 26 auf dem Gehäuse 14 befestigt und durch das Befestigungsmittel 28 in seiner Lage gesichert. Das Befestigungsmittel 28 kann dann in seiner Lage eingekapselt werden durch ein Epoxidharz oder ein anderes Versiegelungsmittel, um die Abdeckung 26 nicht abnehmbar am Gehäuse 14 zu fixieren.

Das Gehäuse ist vorzugsweise aus einem guten Leiter für Vibrationssignale wie Stahl gebildet. Andere Materialien wie Aluminium können verwendet werden, obgleich die Leitfähigkeit von Aluminium und ähnlichen Materialien für Vibrationssignale geringer ist als die von Stahl.

Wie in Fig. 3 gezeigt ist, hat das Gehäuse 14 einen im Wesentlichen massiven Teil 23 benachbart einem Ende, durch welchen sich eine Gewindebohrung 32 erstreckt. Das obere Ende der Bohrung 32 ist versenkt, um zu ermöglichen, daß eine Maschinenschraube mit vergrößertem Kopf oder ein anderes Befestigungsmittel 34 durch die Bohrung 32 geschraubt wird und das Gehäuse 14 fest an dem Bett 22 der Maschine befestigt aufgrund des Eingriffs mit einer Gewindebohrung 36 in dem Bett 22 der Maschine.

Der innere Hohlraum 30 in dem Gehäuse 14 hat im Allgemeinen ebene Seitenwände. Ein bogenförmiger Vorsprung ist in einer Ecke des Hohlraums 30 gebildet und weist eine darin ausgebildete Gewindebohrung 29 für die Aufnahme eines Befestigungsmittels oder einer Schraube 38 auf. Das Befestigungsmittel oder die Schraube 38 hält eine gedruckte Schaltungsplatte 40 an dem Vorsprung innerhalb des Gehäuses 14 fest. Die gedruckte Schaltungsplatte 40 trägt einen in Fig. 5 gezeigten Impedanzwandler 42, der nachfolgend näher beschrieben wird. Eine zweite Bohrung 31 ist ebenfalls in dem Vorsprung 25 ausgebildet, um die Schraube 38 für die Befestigung der Abdeckung 26 an dem Gehäuse 14 aufzunehmen.

In enger Nähe zu, beispielsweise direkt unterhalb der gedruckten Schaltungsplatte 40 ist ein auf Hochfrequenz ansprechender Vibrationssensor wie ein akustischer Emissionssensor, der typischerweise in der Form eines piezoelektrischen Elements 44 ist, benachbart einer bogenförmigen Kerbe in dem Vorsprung 25 angeordnet. Vorzugsweise hat der akustische Emissionssensor 44 die Form einer piezokeramischen Scheibe von im Allgemeinen zylindrischer Konfiguration, wie in Fig. 3 gezeigt ist. Das piezokeramische Element 44 ist beispielsweise ein piezokeramisches Element, das von ESO Ceramics, Modell-Nr. EC64 hergestellt wird. Der akustische Emissionssensor 44 ist so befestigt, daß ein Ende in festem Signalkommunikationskontakt mit der Innenseite 27 der Befestigungsfläche 24 des Gehäuses 14 ist, um durch die Befestigungsfläche 24 des Gehäuses 14 übertragene Vibrationen zu empfangen. Nur beispielhaft in der akustische Emissionssensor 44 in einer flachen Aussparung 46 auf der Innenseite 27 der Befestigungsfläche 24 angebracht. Der akustische Emissionssensor 44 ist in der Aussparung 46 durch jedes geeignete Mittel fest angeordnet, wie durch einen festen Presssitz, oder, wie in Fig. 3 gezeigt ist, durch einen Klebstoff 48 wie einen Epoxid-Klebstoff.

Die beiden Leitungen oder Anschlüsse des Sensors 44 sind mit Anschlüssen auf der gedruckten Schaltungsplatte 40 verbunden oder verlötet. Ein Anschluss des akustischen Emissionssensors 44 ist mit Erdpotential verbunden, wie in Fig. 5 gezeigt ist. Der andere Anschluss des Sensors 44 ist mit einem Eingangsanschluss 50 auf der gedruckten Schaltungsplatte 40 verbunden, welche einen Impedanzwandler bildet. Der Niedrigimpedanzausgang eines Mosfet-Transistors 52, bei dem ein Widerstand 54 einerseits mit dem Gate und dem Eingangsanschluss 50 und andererseits mit Erdpotential verbunden ist, ist mit einem Ausgangsanschluss 56 verbunden. Eine Zenerdiode 58 ist zwischen den Ausgangsanschluss 56 und Erdpotential geschaltet, um einen Über-

spannungsschutz für den Transistor 52 sicherzustellen. Eingangsleistung von dem Kabel 16 wird, wie nachfolgend beschrieben wird, zu einem Anschluss des Sensors 44 geliefert zusammen mit der Erdverbindung zu der gedruckten Schaltungsplatte 40, wie in Fig. 5 gezeigt ist.

Der Mosfet-Transistor 52 wandelt den Hochimpedanzausgang des akustischen Emissionssensor 44 bildenden piezokeramischen Elements in einen Niedrigimpedanzausgang um, wodurch es möglich ist, ein Kabel 16 großer Länge zwischen dem Sensorgehäuse 14 und dem Verstärker 18 zu verwenden.

Ein auf niedrige Frequenzen ansprechender Vibrationssensor 60 ist ebenfalls in dem Gehäuse 14 durch einen Presssitz oder einen Klebstoff 62 in einer flachen Aussparung 47, die an der Innenfläche der Befestigungsfläche 24 des Gehäuses 14 ausgebildet ist, befestigt. Obgleich jeder beliebige Vibrationssensor für niedrige Frequenzen für den Sensor 60 verwendet werden kann, ist der Vibrationssensor 60 für niedrige Frequenzen bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ein Beschleunigungsmesser wie der von IMI unter der Modell-Nr. 602A01 vertriebene.

Der Sensor oder Beschleunigungsmesser 60 hat drei Leitungen, von denen eine mit Erdpotential auf der gedruckten Schaltungsplatte 40 verbunden ist, eine die Eingangsleistung durch das Kabel 16 empfängt und die letzte der Sensorausgang durch das Kabel 16 ist.

Das Kabel 16 ist vorzugsweise ein Kabel, das für die Verwendung in einer Werkzeugmaschinenumgebung geeignet ist und das gegenüber der Einwirkung von Fluiden abgedichtet sowie elektrisch abgeschirmt ist. Das Kabel 16 ist mit einem metallischen Geflecht 66 überzogen, um eine Beschädigung des Kabels 16 zu verhindern. Ein herkömmlicher Kabelverbinder 64 wird verwendet, um ein Ende des Kabels 16 in einer Bohrung an einem Ende des Vibrationssensorgehäuses 14 zu befestigen.

Wie in Fig. 2 gezeigt ist, wird ein herkömmlicher Stecker 70 an dem entgegengesetzten Ende des Kabels 16 mittels einer herkömmlichen Kabelklemme aus einem geschlitzten Ring oder einer Zwingen 72 befestigt.

Der Stecker 70 ist an einem Gegenstecker oder Verbinder 74, der in einem Gehäuse 76 angebracht ist, befestigbar, der in Fig. 6 gezeigt und Teil des Verstärkers 18 ist. Das Gehäuse 76 ist grundsätzlich rechteckig und besitzt Seitenwände, eine obere Wand und einen vergrößerten Bodenbefestigungsflansch 78, welcher durch Befestigungsmittel und Öffnungen an einer geeigneten Befestigungsfläche der Maschine befestigbar ist. Ein Ausgangsverbinder 80 steht aus dem Gehäuse 76 heraus, um Ausgangssignale von dem Verstärker 18 zu einem entfernten Werkzeugmonitor zu liefern.

Eine nicht gezeigte gedruckte Schaltungsplatte ist an dem Gehäuse 76 des Verstärkers 18 befestigt und enthält die in den Fig. 7A und 7B gezeigte Verstärkerschaltung. Wie in den Fig. 7A und 7B gezeigt ist, sind Kanäle oder Schaltungen zweifach vorgesehen, jeweils einmal für jeden Sensor 44 und 60. Eine Konstantstromquelle liefert einen Strom von angenähert 4 mA zu jedem der Sensoren 44 und 60. Der Ausgang der Sensoren 44 und 60 enthaltend den Ausgang des mit dem akustischen Emissionssensor 44 gekoppelten Niedrigimpedanzwandlers 42, ist durch Kondensatoren 74 und 76 mit getrennten Verstärkern 78 und 80 Wechselstrom gekoppelt. Eine Schaltung 82 mit wählbarer Verstärkung ist für den Verstärker 78 vorgesehen und eine Schaltung 84 mit wählbarer Verstärkung ist mit dem Verstärker 80 verbunden, um zu ermöglichen, daß die Verstärkung jedes Verstärkers 78 und 80 individuell eingestellt werden kann, wie es in Abhängigkeit von den Signalübertragungscharakteristiken der besonderen Maschinenanwendung, der individuellen Sensoren 44 und 60 usw. erforderlich ist. Überbrückungsdrähte

sind mit dem geeigneten Verstärkungswiderstand in der Verstärkungsschaltung 82 oder 84 gekoppelt, um die gewünschte Verstärkung auszuwählen.

Der Verstärker 78 bewirkt eine Erststufenverstärkung des Ausgangssignals des Sensors 44. Eine wählbare Zweitstufenverstärkung des Ausgangssignals des ersten Verstärkers 78 kann durch den Verstärker 86 vorgesehen sein, welcher durch einen Überbrückungsdraht 90 selektiv in die Schaltung eingefügt werden kann. Wenn der Überbrückungsdraht 90 in einer Position zwischen geeigneten Anschlüssen angeordnet ist, ist nur der Erststufenverstärker 78 mit der Verstärkerschaltung gekoppelt. Wenn der Überbrückungsdraht 90 in einer zweiten Position angeordnet ist, ist der Zweitstufenverstärker 86 in Reihe mit dem Ausgang des Erststufenverstärkers 78 geschaltet, wodurch ein Multiplikationsfaktor von beispielsweise 10 für die durch die mit den Verstärker 78 gekoppelte Verstärkungsschaltung 82 ausgewählte Verstärkung erhalten wird.

Ein gleichartiger Zweitstufenverstärker 88 und ein Überbrückungsdraht 92 sind ebenfalls für den Verstärker 80 vorgesehen, um das Ausgangssignal des Vibrationssensors 60 wahlweise zu verstärken.

Obgleich die Vibrationssensorvorrichtung 10 nach der vorliegenden Erfindung vorzugsweise mit zwei Sensoren 44 und 60 in dem Gehäuse 14 verwendet wird, ist die Vorrichtung 10 auch mit nur einem Sensor verwendbar, beispielsweise entweder dem Hochfrequenz-Vibrationssensor 44 oder dem Niederfrequenz-Vibrationssensor 60. Wie in Fig. 7A gezeigt ist, sind zwei Auswahl-Überbrückungsdrähte 94 und 96 zwischen die Konstantstromquelle und jeden Sensor 44 und 60 geschaltet, um wahlweise einen oder beide der Sensoren 44 und 60 zu aktivieren.

Die Ausgänge der Verstärker 78, 86, 80, 88 sind mit einem Überbrückungsdraht 98 zur Auswahl des Verstärkertyps verbunden, welcher auf der gedruckten Schaltungsplatte entweder zwischen Stiften 1 und 2 oder zwischen Stiften 1 und 3 wahlweise angeordnet werden kann. Wenn der Überbrückungsdraht 98 die Stifte 1 und 2 verbindet, wird der Verstärker 18, der beide Verstärker 78 und 80 enthält, als eine Vorrichtung mit zwei Eingängen und zwei Kanälen ausgebildet. Wenn der Überbrückungsdraht 98 die Stifte 2 und 3 verbindet, enthält der Verstärker 18 nur einen Verstärker 80 und arbeitet als ein Verstärker mit einem Eingang und vier Kanälen. In dem Fall der Anwendung eines einzigen Sensors wird der Verstärker 80 verwendet und die Konstantstromquelle mit dem einzigen Sensor 44 oder 60 verbunden, der in dem Sensorgehäuse 14 befestigt ist.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind vier Bandpaßfilterschaltung 100, 101, 102 und 103 in dem Verstärker 18 auf der gedruckten Schaltungsplatte angeordnet. Typischerweise ist jede Bandpaßfilterschaltung 100 bis 103 realisiert in der Form eines auf der gedruckten Schaltungsplatte angeordneten Kopfstücks oder Stiftverbinders und funktionsmäßig mit der Verstärkerschaltung gekoppelt, wie in Fig. 7B gezeigt ist. Eine entfernbare gedruckte Schaltungsplatte mit einer individuellen Bandpaßfilterschaltung ist mit dem Kopfstück oder Stiftverbinder verbindbar, wodurch es möglich ist, den Frequenzbereich von jedem der Bandpaßfilter 100 bis 103 zu ändern, um den Anforderungen einer besonderen Sensoranwendung zu entsprechen. Die individuellen Bandpaßfilter 100 bis 103 können jedes herkömmliche Bandpaßfilter sein, wie Butterworth-Filter, Filter vierter Ordnung, Bessell-Filter usw. Der Frequenzbereich jedes Bandpaßfilters 100 bis 103 kann auch mittels einer geeigneten Schaltungsausbildung zugeschnitten sein, um jeden gewünschten Bandpaßfilterbereich zu erhalten. Wie vorstehend erwähnt ist, können die Bandpaßfilter 100 bis 103 nur beispielsweise Filter mit einem Bandpaßbereich

im Allgemeinen zwischen etwa 0,1 Hz bis etwa 500 KHz enthalten, z. B. 1 bis 10 KHz, 0 bis 600 Hz, 30–500 KHz und 200 bis 400 KHz. In dieser Konfiguration der Filter 100 bis 103 würden die beiden Niederfrequenzfilter mit dem Niederfrequenz-Vibrationssensor 69 verwendet, während die Filter mit den höheren Bandpaßfrequenzbereichen mit dem akustischen Emissionssensor 44 verwendet würden.

Wie in Fig. 7B gezeigt ist, ist der Ausgang der Verstärker 80 und 88, welche beispielhaft so beschrieben wurden, daß sie nur mit dem Sensor 60 gekoppelt sind, mit den beiden parallel geschalteten Bandpaßfiltern 100 und 101 verbunden. Die Verstärker 80 und 88 sind auch mit dem Anschluß des Überbrückungsdrahtes 98 verbunden. Wenn der Überbrückungsdraht 98 die Stifte oder Anschlüsse 2 und 3 verbindet, ist der Ausgang der Verstärker 80 und 82 auch mit den beiden parallel geschalteten Bandpaßfiltern 102 und 103 verbunden. In dieser Konfiguration ist ein einziger Vibrationssensor wie der Vibrationssensor 60 in dem vorbeschriebenen Beispiel mit den Verstärkern 80 und 88 gekoppelt, deren Ausgang mit den vier Bandpaßfiltern 100 bis 103 verbunden ist, von denen jedes in der Lage ist, Vibrationen innerhalb eines bestimmten Frequenzbereichs zu erfassen.

Wenn der Überbrückungsdraht 98 abwechselnd die Anschlüsse oder Stifte 1 und 2 verbindet, ist der Ausgang der anderen Verstärker 78 und 86 mit den beiden Bandpaßfiltern 102 und 103 verbunden. Der Ausgang der Verstärker 80 und 88 bleibt mit den Bandpaßfiltern 100 und 102 verbunden. Dies ergibt eine Schaltung mit zwei Eingängen (zwei getrennte Ausgänge der Sensoren 44 und 60) und zwei getrennten Kanälen 100 und 101 für den Sensor 60 und Kanälen 102 und 103 für den Sensor 44.

Wie in Fig. 7B gezeigt ist, ist der Ausgang jeder Bandpaßfilterschaltung 100 bis 103 mit einem Wechselstrom/Gleichstrom-Wandler 104 verbunden. Die Grenzfrequenz jedes Bandpaßfilters 100 und 102 kann individuell durch Überbrückungsdrähte auf der gedruckten Schaltungsplatte, welche Kondensatoren mit einem Eingang jedes Wandlers 104 koppeln, ausgewählt werden. Zusätzlich kann die zeitliche Abhängigkeit jedes Wandlers 104 ebenfalls durch individuelle Überbrückungsdrähte, welche einen von mehreren verschiedenen Kondensatoren mit jedem Wandler 104 verbinden, ausgewählt werden. Auf diese Weise wird die Grenzfrequenz des Ausgangssignals jedes Bandpaßfilters 100 bis 103 ausgewählt und durch den Wandler 104 in einen Gleichstromwert umgewandelt. Der Ausgang des Wandlers 104 ist mit einem Tiefpaßfilter 106 verbunden, welches das raue Effektivwert-Ausgangssignal des Wandlers 104 glättet. Der Ausgang des Tiefpaßfilters 106 ist mit einem Puffer 108 gekoppelt, bevor er zu einem Ausgangsverbinder auf der gedruckten Schaltungsplatte geführt wird, der Leitungen aufweist, die mit Leitern in einem in Fig. 6 gezeigten, sich zu dem entfernten Werkzeugmonitor erstreckenden Ausgangskabel 81 verbunden sind. Zusammengefasst wurde eine einzigartige Breitband-Vibrationssensorvorrichtung offenbart, welche mehrere Vibrationssensoren in einem einzigen Gehäuse aufweist, um die Montage des Vibrationssensors bei einer Werkzeugmaschine zu vereinfachen sowie zu ermöglichen, daß unterschiedliche Vibrationsfrequenzen erfasst werden, um die Maschine und deren Arbeitsweise zu überwachen. Die Verwendung eines einzigen Vibrationssensorgehäuses, das mehrere Vibrationssensoren enthält, erlaubt die Verwendung eines einzigen Kabels zu einem entfernten einzigen Verstärker, welcher aufgrund der größeren Länge des bei der vorliegenden Vorrichtung verwendeten Kabels außerhalb der Umgebung der Werkzeugmaschine angeordnet sein kann, um zu vermeiden, daß er Metallspänen, Kühlmitteln usw. ausgesetzt ist. Die Verstärkerschaltung ist so ausgebildet, daß sie als eine Vorrichtung mit ei-

nem Eingang und zwei oder vier Kanalausgängen oder als eine Vorrichtung mit zwei Eingängen und zwei Kanalausgängen wählbar ist.

Patentansprüche

1. Vibrationssensorvorrichtung zum Erfassen von von einer Maschine und Werkzeugmaschine emittierten Vibrationen, **gekennzeichnet durch:**
 - ein Gehäuse mit einer Werkzeugmaschinen-Kontaktfläche,
 - einen ersten und einen zweiten Sensor, welche in dem Gehäuse befestigt sind, um von der Maschine und der Werkzeugmaschine emittierte Vibrationen zu erfassen, und
 - eine Verstärkervorrichtung, die auf wenigstens eines der Ausgangssignale des ersten und zweiten Sensors anspricht, um die Ausgangssignale des ersten und zweiten Sensors zu verstärken.
2. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite Sensor niedrige bzw. hohe Frequenzen erfassen.
3. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Sensor ein Beschleunigungsmesser ist.
4. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Beschleunigungsmesser Vibrationsfrequenzen zwischen etwa 0,1 Hz und etwa 600 Hz erfasst.
5. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Sensor ein piezoelektrisches Element ist.
6. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element Vibrationsfrequenzen zwischen etwa 50 KHz und etwa 500 KHz erfasst.
7. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein einziges Mehrleiterkabel, das mit dem Gehäuse verbunden ist und sich von diesem erstreckt, um die Ausgangssignale des ersten und zweiten Sensors zu übertragen.
8. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung zur Umwandlung der Ausgänge des ersten und des zweiten Sensors in getrennte Paare aus einem ersten und einem zweiten, parallel zueinander angeordneten Kanälen.
9. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung zur Umwandlung wenigstens eines von den Ausgängen des ersten und zweiten Sensors in einen ersten und einen zweiten Kanal, die parallel zueinander angeordnet sind.
10. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung zum Koppeln eines Bandpaßfilters jeweils an den ersten und den zweiten Kanal.
11. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Kopplungsvorrichtung eine Vorrichtung zum lösbaren Koppeln eines von mehreren Filtern, welche jeweils einen unterschiedlichen Bandpaß-Frequenzbereich aufweisen, mit jeweils dem ersten und dem zweiten Kanal.
12. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung zum Befestigen jeweils des ersten und des zweiten Sensors in Signalverbindung mit der Maschinenkontaktfläche des Gehäuses.
13. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Sensor ein Be-

schleunigungsmesser und der zweite Sensor ein piezokeramischer Sensor sind.

14. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen in dem Gehäuse angeordneten Impedanzwandler, der mit dem Ausgang des zweiten Sensors gekoppelt ist, um diesen in einen Niedrigimpedanzausgang umzuwandeln.

15. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen in dem Gehäuse ausgebildeten Hohlraum, wobei der erste und der zweite Sensor in dem Hohlraum in Vibrationssignalverbindung mit der Maschinenkontaktfläche des Gehäuses befestigt sind.

16. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und der zweite Sensor durch eine Klebverbindung fest in Signalverbindung mit der Maschinenkontaktfläche des Gehäuses angeordnet sind.

17. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Klebstoff ein Epoxidharz ist.

18. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 15, gekennzeichnet durch ein in dem Gehäuse ausgebildete Aussparung zur Aufnahme des ersten oder des zweiten Sensors.

19. Vibrationssensorvorrichtung nach Anspruch 18, gekennzeichnet durch eine Klebverbindung für den ersten oder den zweiten Sensor in der Aussparung des Gehäuses.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

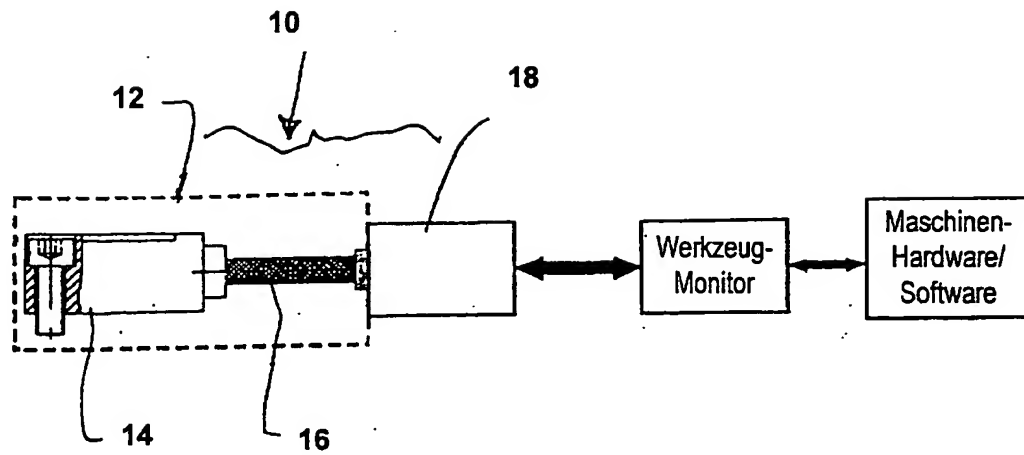


Fig. 1

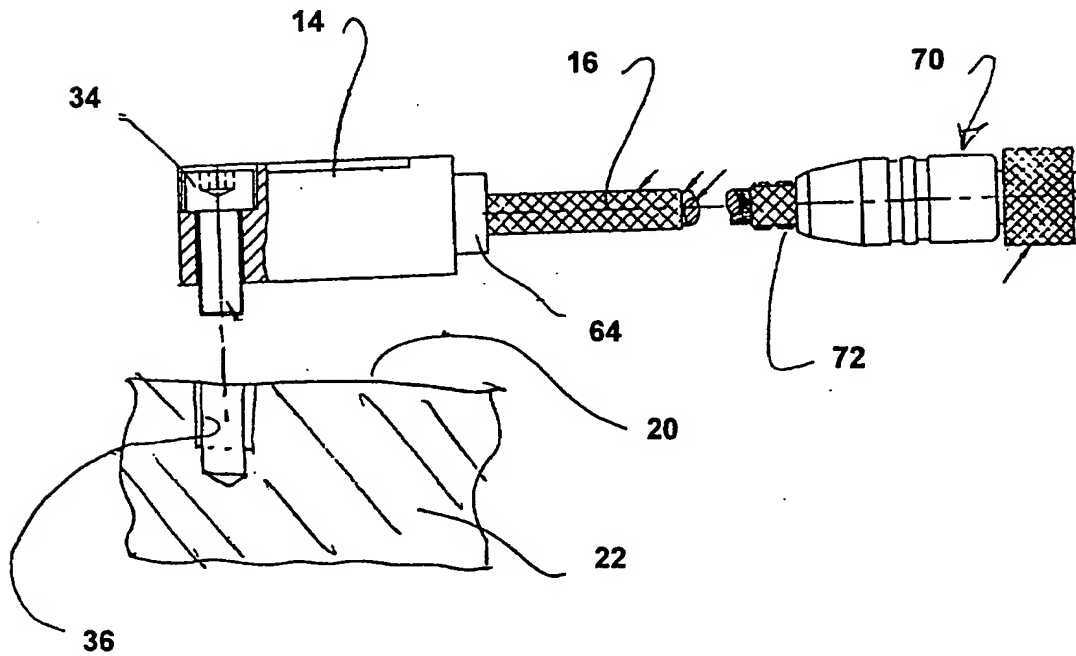


Fig. 2

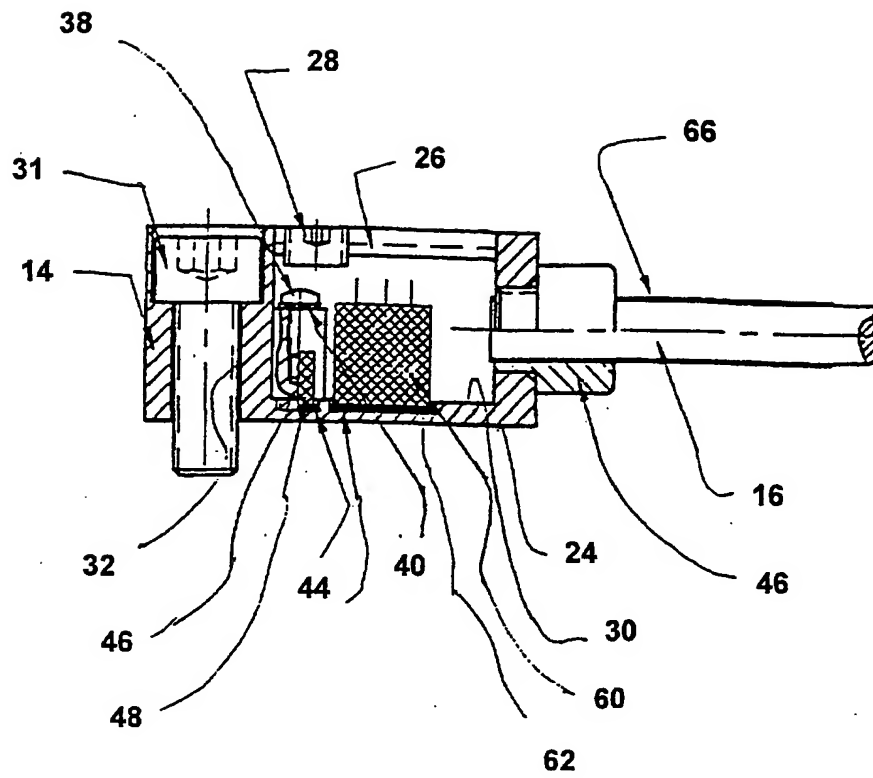


Fig. 3

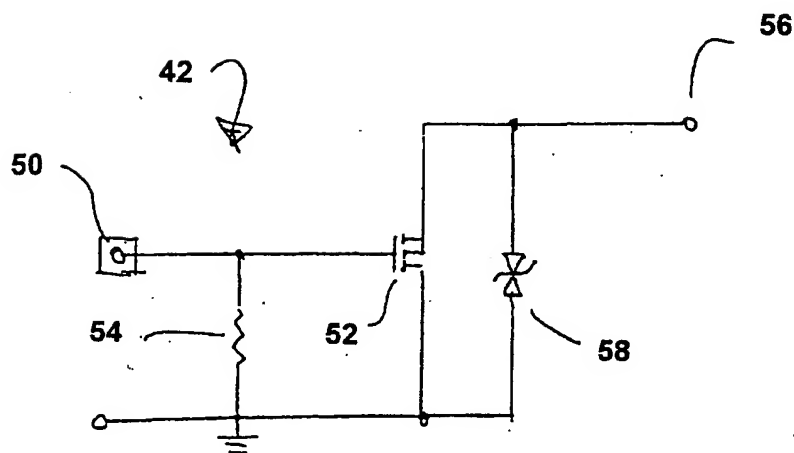


Fig. 5

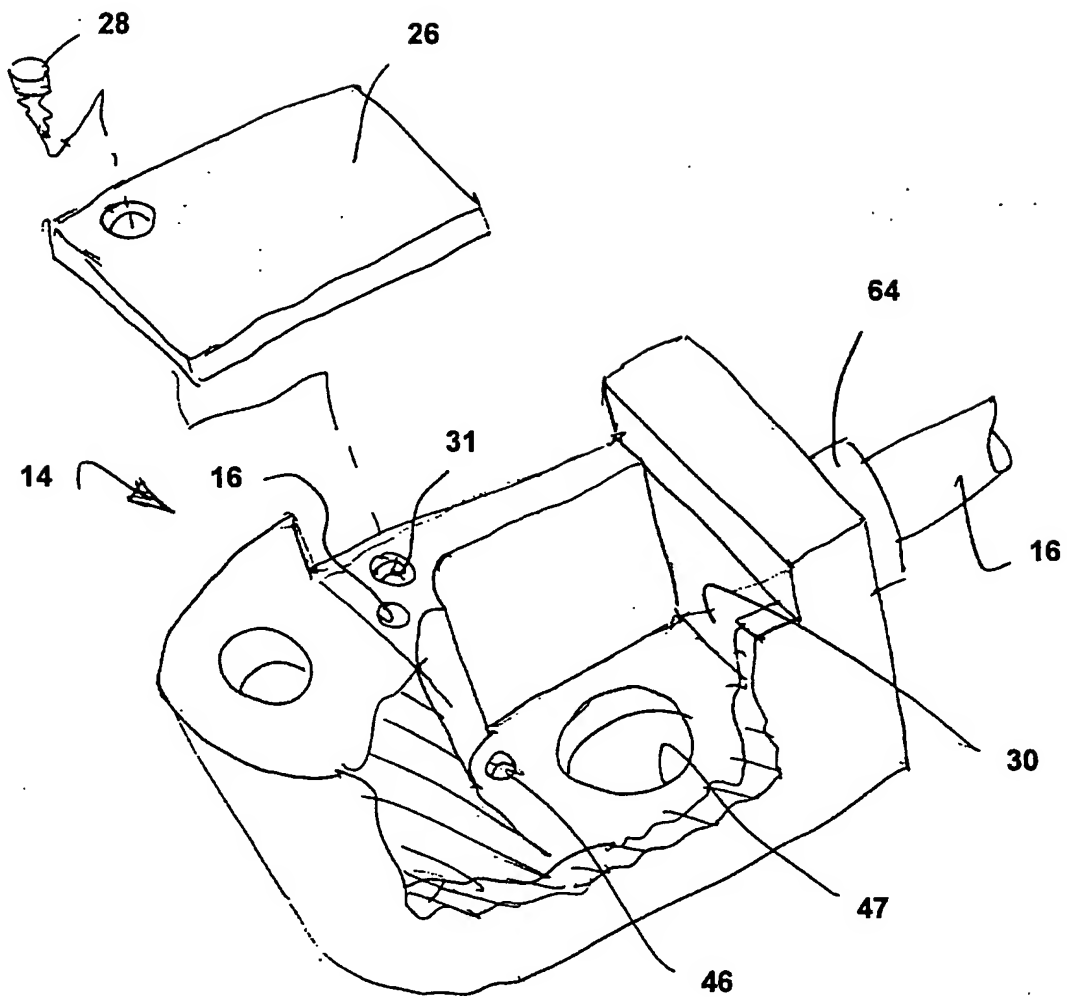


Fig. 4

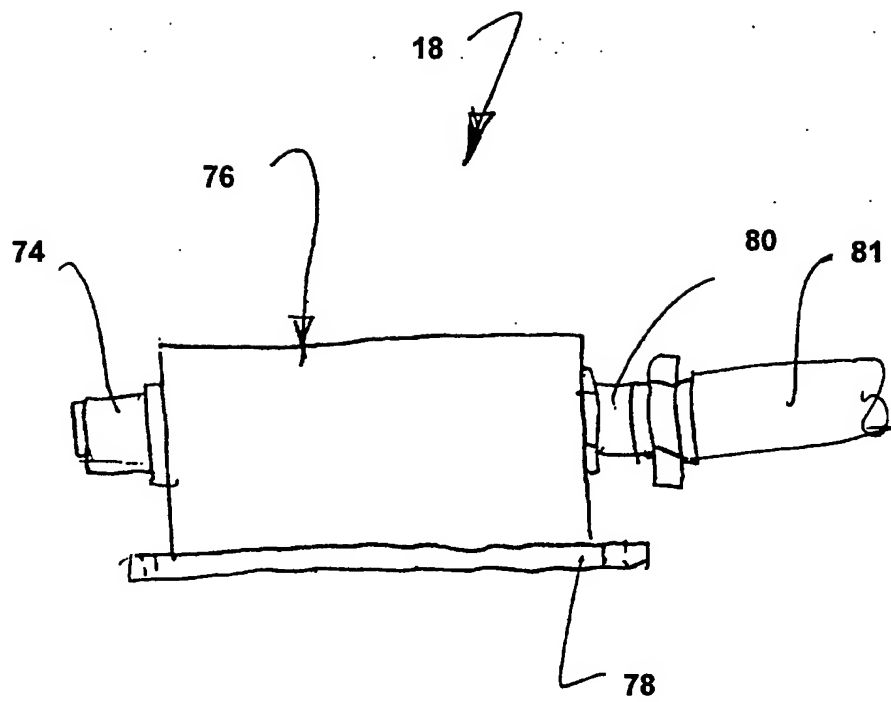


Fig. 6

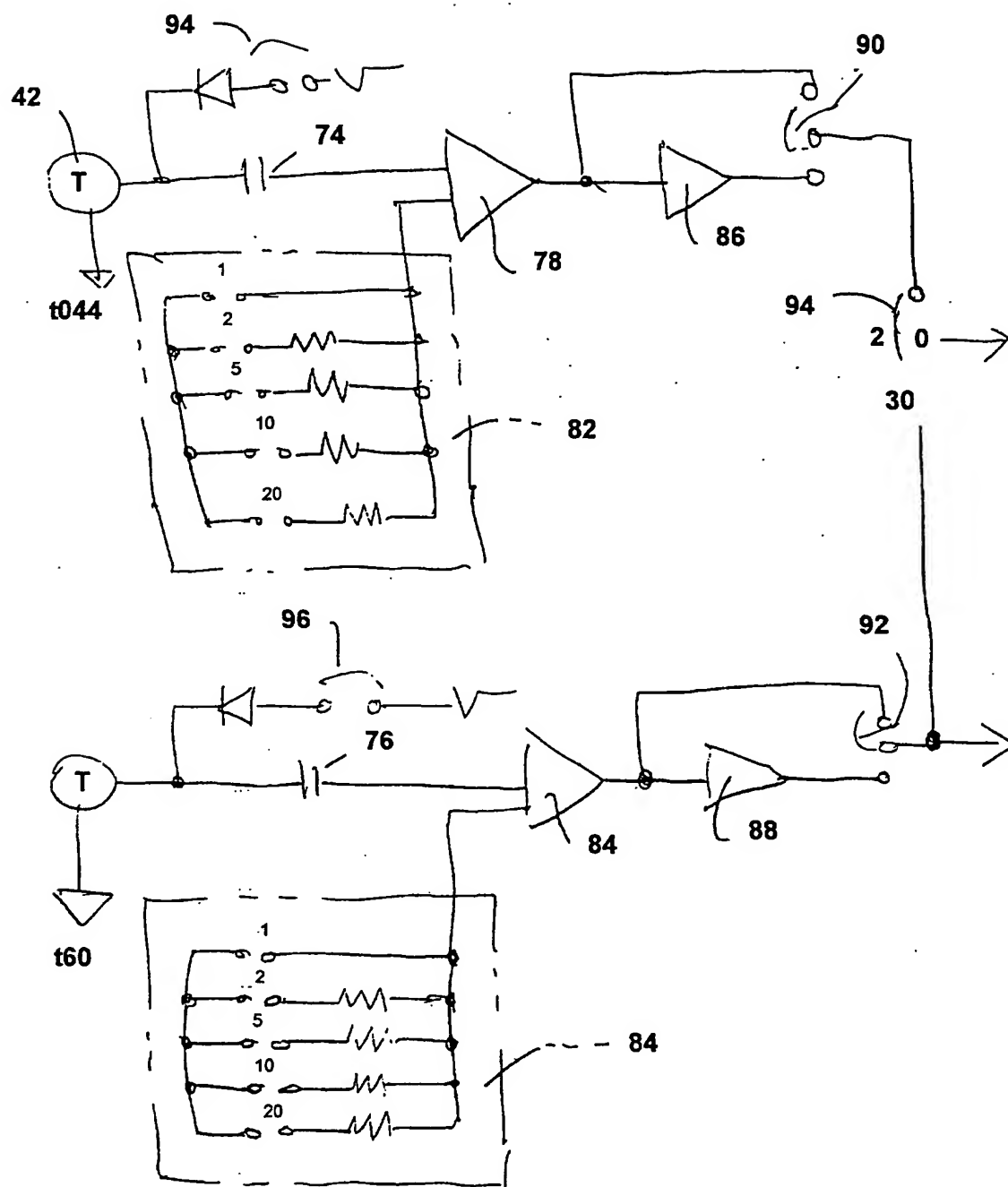


Fig. 7A

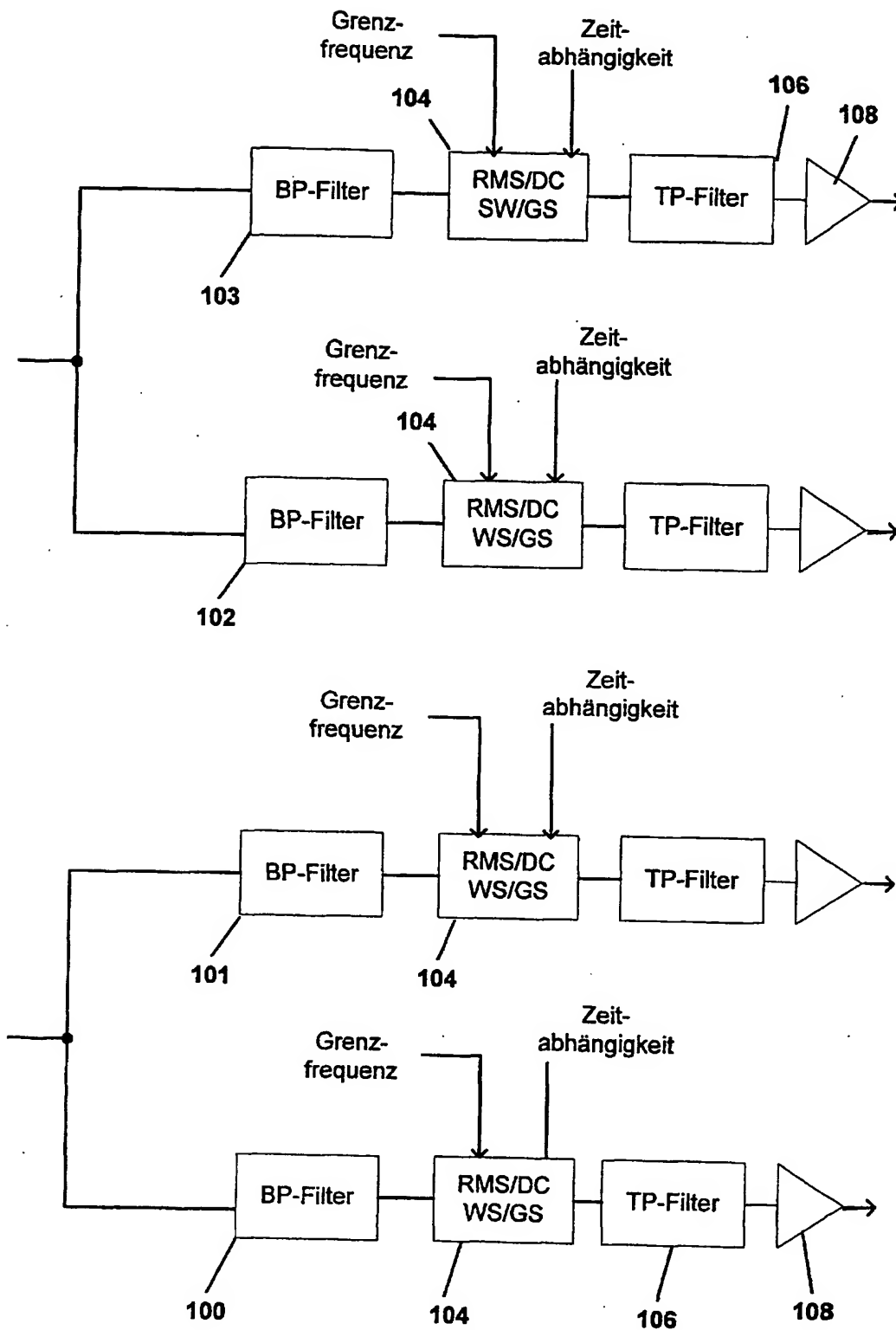


Fig. 7B